

Vesistöjen likaantumisen riskejä ja niiden hallintaa – CONPAT-hanke lähtenyt liikkeelle

Ilkka Miettinen, Anna-Maria Hokajärvi, Ari Kauppinen, Jaana Kusnetsov, Päivi Meriläinen, Tarja Pitkänen, Pia Räsänen ja Sallamaari Siponen. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos.

Timo Assmuth, Maiju Happonen, Timo Huttula, Jari Lyytimäki, Taina Nysten, Noora Perkola ja Sirkku Tuominen. Suomen Ympäristökeskus.

Juha Honkatukia, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus

(Ingressi)

Suomen luonnonvesien ja talousvesien laadusta sekä sen turvaamisesta tarvitaan lisää tietoa uusien kuormituslähteiden, ympäristömuutosten sekä ihmisen muuttuvien tarpeiden takia. Myös tiedon hyödyntämistä päätöksenteossa pitää tehostaa. CONPAT-hankkeessa selvitetään mikrobien ja puutteellisesti tunnettujen kemiallisten aineiden päästölähteitä sekä kulkeutumista. Nämä tiedot ovat tarpeen vesivaroihin kohdistuvien terveys- ja ympäristöriskien arvioinnin ja hallinnan pohjaksi.

Johdanto

CONPAT-hanke (Veden kontaminantit - likaantumisen syyt, terveysriskit ja riskien hallinta) keskittyy vesivarojen mikrobiologisen ja kemiallisen pilaantumisen terveysriskeihin ja niiden hallintaan. Hanke on osa Suomen Akatemian AKVA-ohjelmaa (2012-2016), jossa tutkitaan akvaattisten luonnonvarojen kestävää käyttöä.

Puhdas makea vesi on yksi tärkeimmistä ekosysteemipalveluista ja ihmisten terveyteen vaikuttavista tekijöistä. Suomessa vesilaitosten tuottama talousvesi tuotetaan nykyään valtaosin pohjavettä, joka on lisääntyvästi tekopohjavettä. Näihin vesivaroihin voi päästä terveydelle haitallisia mikrobeja ja aineita jätevesistä, hajakuormituksesta tai luontaisista lähteistä. Vesiturvallisuuden takaamiseksi onkin tärkeää estää tällaisten haittatekijöiden pääsy talousvesilähteisiin tai vähentää muilla tavoin talousveteen kohdistuvia riskejä ja haittoja.

Vaikka mikrobeja ja haitallisia aineita poistetaan jätevesistä puhdistamoilla ja haitta-aineita voi poistua veden luonnollisessa kierrossa, monia niistä voi myös säilyä tärkeissä vesivaroissa ja vesistöissä. Luonnonvesiin päätyessään mikrobit ja haitalliset aineet voivat olla terveysriski uidessa tai käytettäessä vettä kasteluvetenä (Hokajärvi ym. 2013). Mikrobit ja kemialliset haitta-aineet on otettava huomioon myös juomaveden tuotannossa erityisesti silloin kun pintavesiä käytetään raakavesinä vesilaitoksilla. Terveysriskejä voi lisäksi syntyä, kun kemikaalit muuntuvat luonnossa tai kun uudentyyppisiä kemikaaleja leviää vesivaroihin (Loos ym. 2008). Aineiden, eliöiden ja muiden tekijöiden yhteisvaikutukset aiheuttavat terveysriskejä, jotka tunnetaan huonosti. Uusia, kokonaisvaltaisia lähestymistapoja, tietoja ja toimia tarvitaan uhkien merkityksen ymmärtämiseksi, vesivarojen suojelemiseksi ja vesivarojen kestäväen käytön varmistamiseksi.

CONPAT-hanke

CONPAT-hankkeen keskeisenä tavoitteena on tutkia mikrobien ja kemikaalien lähteitä sekä kulkeutumista ja käyttäytymistä vesistöissä ja vesivaroissa. Hankkeessa arvioidaan eri näkökulmista näiden vesiä pilaavien tekijöiden aiheuttamia terveysriskejä sekä pilaantumisen sosio-ekonomisia vaikutuksia ja pilaantumista aiheutuvien riskien hallintaa. Yleistavoite on tuottaa tieteellisesti perusteltua ja yhteiskunnallisesti relevanttia tietoa ja menetelmiä, joilla vesivaroihin kohdistuvia terveysriskejä ja haittojen merkitystä voidaan arvioida ja hallita. Hanke koostuu lukuisista osatehtävistä, jotka täydentävät toisiaan:

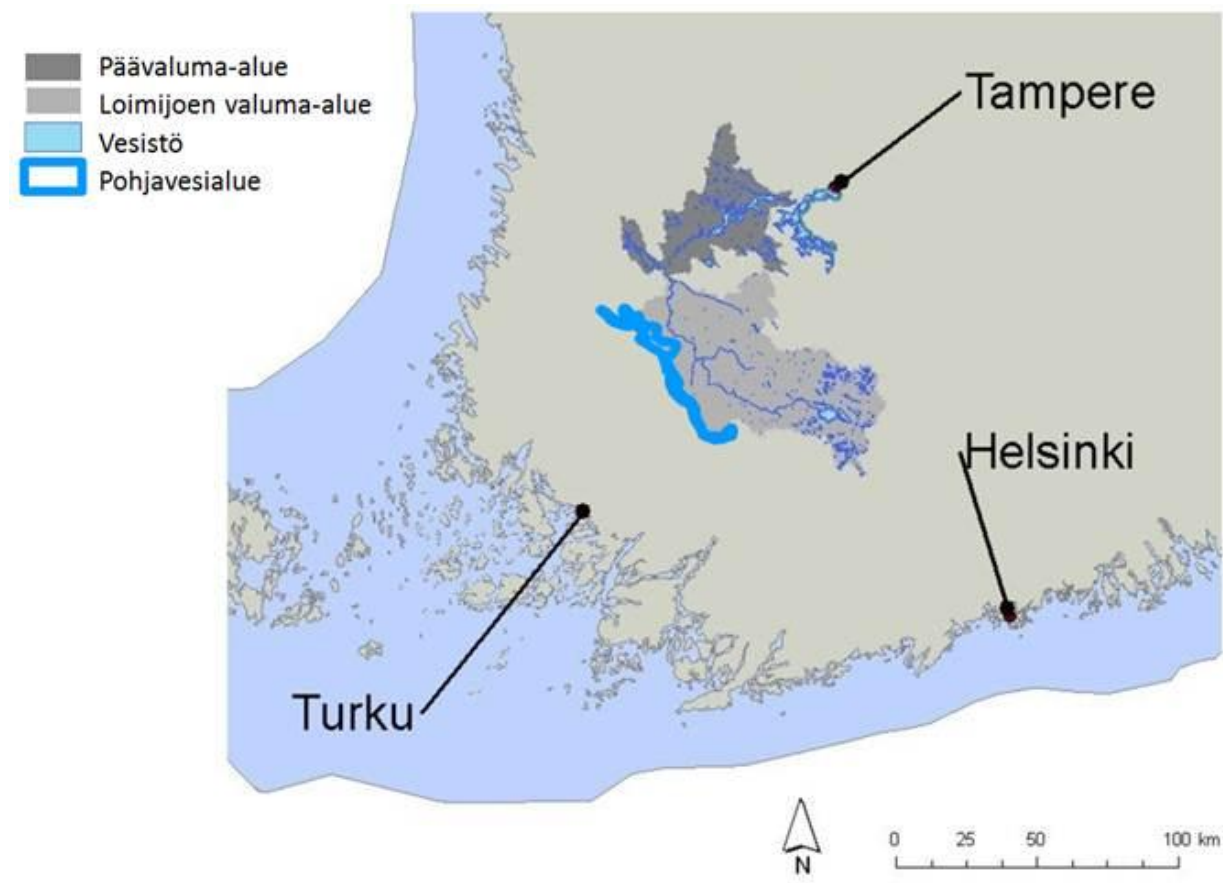
- riskien tunnistaminen ja arviointikehikon kehittäminen (äkilliset ja jatkuvat riskit)
- päästölähteiden kartoitus (piste- ja hajakuormitus)
- mikrobiologiset ja kemialliset määitykset (päästölähteet, pinta- ja pohjavedet, vesihuolto)
- pintavesimallinnus (hydrologia sekä haittatekijöiden kulkeutuminen ja käyttäytyminen)
- pohjavesimallinnus (hydrologia, kulkeutuminen ja käyttäytyminen pohjavedessä ja maaperässä)
- terveysriskien arviointi (mikrobiologiset ja kemialliset välittömät ja välilliset riskit)
- taloudellisten ja sosiaalisten vaikutusten arviointi (ml. vaihtoehtoiset ratkaisut)
- riskienhallinnan lähestymistapojen arviointi (haittojen ehkäisy ja vähentäminen)

- viestintä (riskiviestinnän ja vuorovaikutuksen tutkimus; hankkeen sisäinen ja ulkoinen viestintä).

Tutkimuksen kohdealueet ja analysoitavat parametrit

Tutkimus kohdistuu Kokemäenjoen valuma-alueen vedenlaatuun ja Virttaankankaan harjussa valmistettavan tekopohjaveden laatuun (kuva 1). Vesinäytteitä on ensimmäisen vuoden aikana kerätty vesistöstä 16 pisteestä ja tekopohjaveden valmistusprosessista 5 pisteestä.

Päästölähteitä on selvitetty 10 eri jätevesikuormittajan purkupisteistä otettujen näytteiden avulla.



Kuva 1. CONPAT- tutkimusalueiden sijainti

Vesinäytteistä analysoidaan taudinaiheuttajamikrobien sekä suolistosaastutusta kuvaavien ns. indikaattorimikrobien pitoisuuksien vaihteluja. Tutkittavia mikrobeja ovat:

- noro- ja adenovirukset
- kampylo-, salmonella- ja legionellabakteerit

- *Escherichia coli*, koliformiset bakteerit, enterokokki-bakteerit ja kolifaagit.

Lisäksi hankkeessa testataan ensimmäistä kertaa Suomessa mikrobiologisia saastelähteiden tunnistamistekniikoita (MST, microbial source tracking). MST-tekniikoilla määritetään erilaisten mikrobien geneettisten sormenjälkien (markkereiden) esiintymistä ja pitoisuustasoja.

Kemiallisen pilaantumisen osalta tutkimuksessa keskitytään joihinkin tärkeisiin aineryhmiin, joiden esiintyminen ja käyttäytyminen ympäristössä tunnetaan huonosti ja joihin liittyy erityisiä vesilevintäisiä terveysriskejä (Perttinä 2003, Vieno 2007, Loos ym. 2008, Götz ym. 2010; ks. myös Besse ja Garric 2008, Huerta-Fontela ym. 2010, Hughes ym. 2013):

- lääkeaineet (mm. sulfametoksiatsoli, karbamatsepiini, diklofenaakki, ibu- ja ketoprofeeni sekä kofeiini; vrt. Vieno 2007)
- perfluoratut alkyyliyhdisteet, joita käytetään mm. metallien pinnoituksessa, tekstiilien, paperin ja nahan pintakäsittelyssä ja musteissa
- makeutusaineet (asesulfaami-K, sakariini, syklaamihappo ja sukraloosi; tutkimuskohteina pääosin indikaattoriaineina).

Saatuja tietoja käytetään riskien arvioinnin ja hallinnan lähestymistapojen kehittämiseen. Tällöin yleistetään analyysiä suuremman ainejoukon vertailevaan tarkasteluun, ottaen huomioon myös muut riskitekijät, talousveden hyödyt ja riskien vähentäminen.

Mikrobien ja kemikaalien kulkeutumista vesistössä ja pohjavesissä selvitetään matemaattisten mallien avulla. Pintavesille sovelletaan erityisesti COHERENS-allasmallia, SOBEK-jokimallia ja INCA-valuma-aluemallia, pohjavesille MODFLOW-mallia. Hydrologisten fysikaalisten mallien täydentäminen mikrobien ja erityisesti haitallisten aineiden käyttäytymiseen vaikuttavien biogeokemiallisten tekijöiden ja prosessien ottamiseksi tehokkaasti huomioon muodostaa tärkeän kehittämiskohteen.

Yksi hankkeen tärkeimmistä tavoitteista on arvioida juomaveteen päätyvien mikrobien ja kemikaalien mahdollisia terveysvaikutuksia. Juomaveden riskinarviointi tuottaa vertailukelpoista tietoa eri mikrobien ja kemikaalien terveysriskien suuruudesta. Riskinarviointi jakautuu altistuksen ja vaikutusten arviointiin, jotka yhdistyvät kvantitatiivisessa tarkastelussa annos-vaste -suhteiden avulla. Riskejä tunnistetaan systemaattisesti soveltaen mikrobiologisen ja kemiallisen riskinarvioinnin yleisiä menetelmiä.

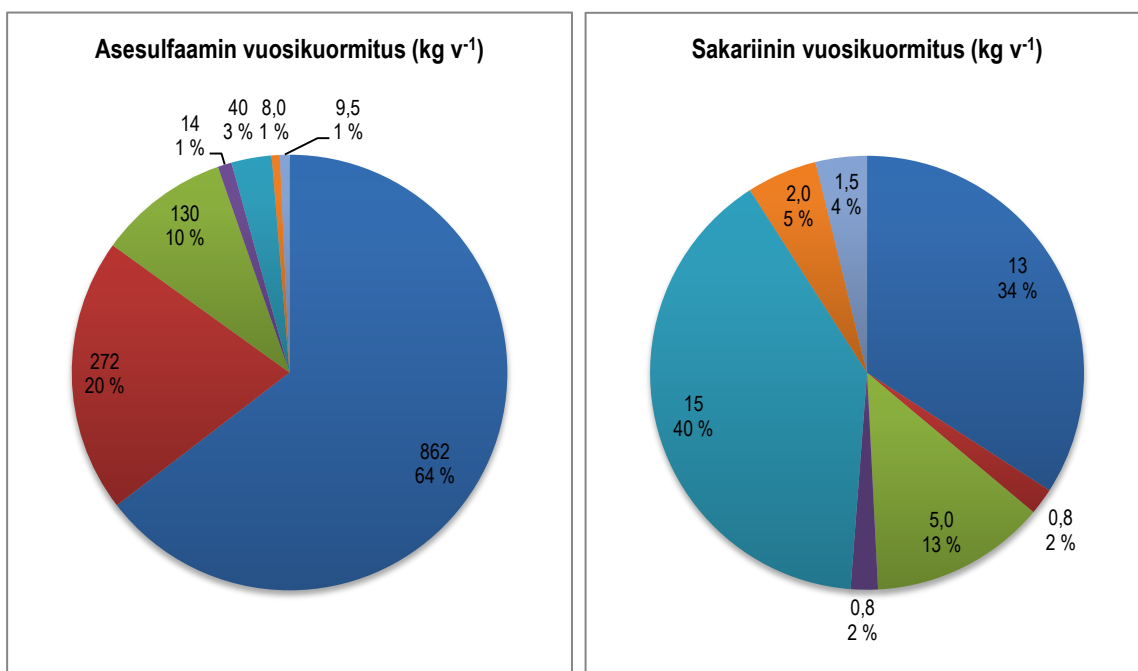
Lisäksi riskien luonnehdintaan kuuluu olennaisesti vaihtelun ja epävarmuuden analysointi koko ketjussa päästöistä altistuviin ihmisryhmiin. Tutkimuksessa ei kuitenkaan ole mahdollista mitata altistumista ja vaikutuksia vettä käyttävässä väestössä, vaan käytetään yleisempiä arvioita altistumisesta ja haittavaikutuksista. Arvioinnissa eritellään riskejä aiheuttavia tilanteita, kuten jatkuvia ja äkillisiä päästöjä, käyttäen mm. skenaarioita.

Arvioinnin tuloksena saadaan tietoa siitä, miten eri riskinhallintavaihtoehdot voisivat vähentää väestön terveysriskejä. Sen selvittämiseksi tarkastellaan riskien ohella teknis-taloudellisia järjestelmiä. Hankkeessa arvioidaan myös millaisia taloudellisia vaikutuksia eri uhkista koituu ja kuinka paljon eri riskinhallintavaihtoehdot voisivat tulla maksamaan. Uhkien ja niiden hallinnan taloudelliset vaikutukset kootaan kokonaistaloudellista mallia käyttäen alue- ja kansantaloudellisiksi kustannus-hyötyanalyysiksi. Tutkijat selvittävät lisäksi näkemyksiä riskeistä. Tähän käytetään media-analyysijä, jotka kohdistuvat lehdistössä sekä sosiaalisessa mediassa esitettyihin näkemyksiin. Arvioinnissa tärkeässä asemassa ovatkin vertailevat tarkastelut mm. eri riskitekijöiden ja toimenpidevaihtoehtojen välillä, riskejä ja niiden hallintaa koskevat arvotukset sekä riskien, hyötyjen ja vaikutusten kokonaisvaltainen tarkastelu 'hydrososiaalisessa järjestelmässä'.

Mikrobien ja kemikaalien päästöt vesistöön

Hankkeen ensimmäisen vuoden mikrobiologiset mittaukset vahvistavat aiempia havaintoja siitä, että jäteveden puhdistamot toimivat tautia-aiheuttavien mikrobien päästölähteinä purkuvesistöissä. Tutkimusalueelta kerätyistä puhdistetun jäteveden näytteistä yli puolet sisälsi norovirusia (genoryhmät I ja II) ja adenovirusia. Legionellabakteereja oli noin kolmasosassa näytteistä ja kampylobakteereja ja salmonelloja tätä harvemmin. Tulosten perusteella teollisuuden jätevedenpuhdistamoiden osuus suolistoperäisten bakteerien kuormituslähteenä on selvästi vähäisempää kuin yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoiden. Keskimääräinen *E. coli* lukumäärä teollisuuden puhdistamoilla oli 200 pesäkettä muodostavaa yksikköä (pmy) / 100 ml, kun se yhdyskuntien puhdistamoilla oli 130 000 pmy / 100 ml. Legionellabakteereja näyttää pääsevän puhdistamoilta vesistöön vaihdellen, mutta yllättäen suuria legionellabakteerien lukumääriä havaittiin molempien puhdistamotyyppien purkuvesistä.

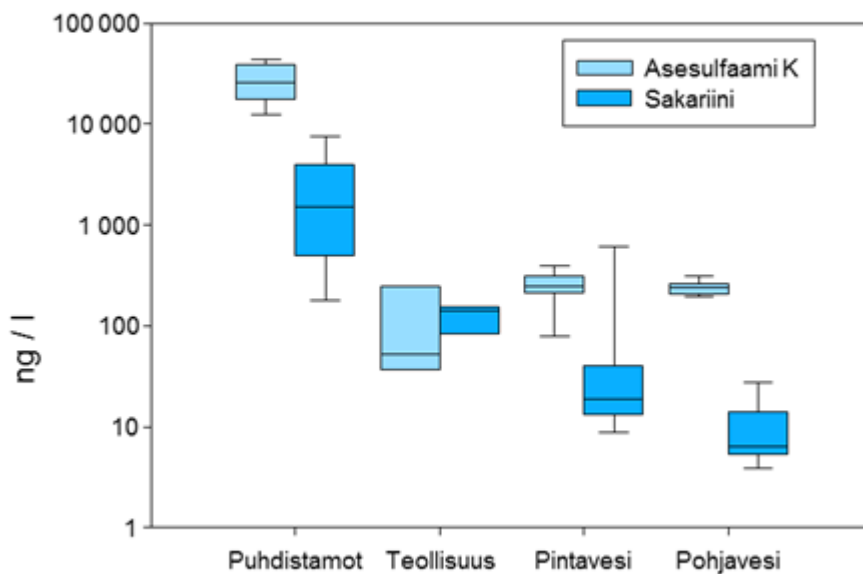
Hankkeessa on selvitetty kemikaalien (erityisesti lääkkeiden) kuluttaja- ja teollisuuskäyttöä yleisellä tasolla tilastotiedoista, ja tutkittavien aineiden päästöjä on tutkittu mittauksin kunnallisilla ja teollisuuslaitosten jätevedenpuhdistamoilla sekä alapuolisessa vesistössä. Pitoisuuksien ja virtaamien perusteella laskettiin kaikilta jätevedenpuhdistamoilta Kokemäenjokeen pääsevä keskimääräinen kuormitus, joka oli mm. asesulfaamille n. 1300 kg ja sakariinille n. 40 g vuodessa. Näiden indikaattoriaineiden lähteiden välillä oli myös havaittavissa eroja. Asesulfaamikuormituksen jakauma noudattaa pitkälle puhdistamoiden palvelemaa väestömäärää. Puhdistamoiden sakariinikuormitus ei sen sijaan ole suoraan verrannollinen väestömäärään vaan riippuu mm. käytetystä puhdistusmenetelmästä ja voi indikoida myös muita päästöjä (kuva 2).



Kuva 2. Indikaattoriaineina käytettyjen asesulfaamin ja sakariinin keskimääräisiä vuosikuormituksia tutkituilta seitsemältä jätevedenpuhdistamolta (ylemmät luvut) ja prosenttiosuudet näiden puhdistamojen yhteenlasketusta kuormituksesta (alemmat luvut).

Suolistoperäistä saastutusta kuvaavia indikaattorimikrobeita todettiin odotusten mukaisesti kaikista pintavesikohteista. Lisäksi koko tutkitulta Kokemäenjoen vesistö-alueelta todettiin tautia-aiheuttavia bakteereja ja viruksia. Suurimmasta osasta pintavesinäytteitä havaittiin kampakylobakteereja ja noin puolet näytteistä sisälsi noroviruksen genoryhmää II ja adenoviruksia. Noroviruksen genoryhmää I, salmonellaa ja legionellabakteereja todettiin noin neljäsosasta pintavesinäytteistä. Mikrobien pitoisuus ei juuri pienentynyt vesistössä. Sen sijaan tekopohjaveden valmistusprosessin voidaan todeta poistavan tehokkaasti raakavedestä peräisin olevia mikrobeja.

Tarkasteltaessa tutkittavien päästöjen etenemistä alustavien tulostemme valossa itse vesistössä ja vesihuoltojärjestelmässä (kuva 3) indikaattoriaineiden pitoisuudet pääsääntöisesti pienenevät kuormituslähteissä havaittavista korkeista tasoista alapuoliseen vesistöön sekä edelleen siitä tekopohjaveden valmistukseen karkeasti satakertaisesti. Pitoisuuksien pieneneminen johtuu pääasiassa laimenemisesta, mutta myös hajoaminen ja muut tekijät voivat vaikuttaa. Näiden tekijöiden analysointi raakaveden sisältämille haitallisille aineille on keskeinen osa altistuksen arviointia.



Kuva 3. Asesulfaamin ja sakariinin pitoisuuksien mediaanit (gramman miljardisosia litrassa) sekä niiden 25-75 % ja 10-90 % vaihteluvälit eri näytetyypeissä kuormituslähteistä pintavesiin ja tekopohjaveden imeytysalueelle. Huomaa logaritminen asteikko.

Alustavia arvioita

CONPAT-hankkeen kenttävaihe, jossa kerätään tietoa mikrobien ja kuluttajakemikaalien pitoisuuksien vaihtelusta vesistön eri osissa, saatetaan loppuun vuoden 2014 aikana. Mikrobien ja kemikaalien kulkeutumiseen ja säilyvyyteen vaikuttavista tekijöistä, kuten laimeneminen, sedimentaatio ja hajoaminen, ei voida vielä hankkeen tässä vaiheessa tehdä kvantitatiivisia päätelmiä.

Jäteveden puhdistus voi poistaa jopa 90-99,9 % sen mikrobeista (Pradhan et al. 2013). Tiettyjen mikrobien lukumäärät voivat jätevettä puhdistessa myös suurentua alkutilanteesta, erityisesti biologisen puhdistusvaiheen aikana. Korkeasta puhdistustasosta huolimatta purkuvesistöön päätyy lukumääräisesti paljon mikrobeja, sillä pahimmillaan esim. norovirusia voi puhdistamattomassa jätevedessä olla yli 10 000 000 viruskopiota/L. Yleensä suolistomikrobien lukumäärät laskevat nopeasti purkuvesistössä pääasiassa laimenemisen, mutta myös mm. tuhoutumisen ja sedimentaation johdosta. Sen sijaan alkujaan ympäristöperäiset mikrobit, kuten legionellat, voivat selviytyä paremmin vesistössä ja veden käytön seurauksena purkuvesien legionellabakteerien on arveltu aiheuttaneen myös sairastumisia (Olsen et al 2010, Allestam et al 2011).

CONPAT-hankkeessa selvitetään, miten pitkälle päästölähteestä mikrobit voivat kulkeutua vesistössä ja millaisia terveysvaikutuksia niillä on. Koealueen pintavesistä on havaittu sekä taudinaiheuttaja- että indikaattorimikrobeja, jotka päätyvät juomavesiprosessin raakaveteen. Esimerkiksi noroviruksen kohdalla pintavesistä mitatut pitoisuudet voivat aiheuttaa vesivälitteisen infektioriskin veden virkistyskäyttäjälle, mikäli pintavettä niellään. Juomaveden valmistusprosessin useat peräkkäiset vaiheet poistavat kuitenkin tehokkaasti mikrobeja, joten lähtöpitoisuuksien täytyisi olla hyvin suuret ja lisäksi prosessissa pitäisi tapahtua samanaikaisesti useita virhetilanteita, jotta mikrobit aiheuttaisivat terveyshaittaa juomaveden välityksellä. Tällaisiin erikoistilanteisiin voisivat mahdollisesti johtaa esim. vaikeat tulvat. Onkin tärkeää tarkastella mikrobien laimenemisen (sekä vesistössä että vedenpuhdistuksen eri vaiheissa) lisäksi erikoistilanteiden todennäköisyyttä, jotta terveysvaikutuksia pystytään arvioimaan erilaisiin uhkiin varauduttaessa.

Tutkituista indikaattoriaineista asesulfaami ja sakariini ovat keinotekoisia makeutusaineita, jotka eivät metaboloitu vaan poistuvat sellaisenaan elimistöstä. Asesulfaamista vain pieni osa (max. 40 %) hajoaa puhdistamalla, joten valtaosa päätyy vastaanottaviin vesistöihin. Asesulfaami on vesiliukoinen ja vesiympäristössä pysyvä yhdiste, jonka pitoisuuksien vaihtelu vesistössä ja pohjavesissä on lähinnä laimenemisesta riippuvaista, joten sitä voidaan käyttää yhdyskuntajäteveden merkkiaineena ympäristössä.

Sakariinin puhdistusteho riippuu käytettävästä tekniikasta (yleensä yli 90 % poistuu), mutta koska käyttömäärät ovat suuret ja puhdistusteho vaihtelevat, puhdistetun jäteveden mukana päätyy vesistöön mitattavia pitoisuuksia. Erityisesti tulva-aikana ohijuoksutuksissa vesistöihin

pääsee puhdistamatonta jätevettä, jolloin kuormitus ja pitoisuudet voivat olla merkittävästi suurempia. Lisäksi sakariinia voi päästä vesistöön haja-asutusalueen jätevesihuollosta. Myös maataloudesta voi aiheutua sakariinipäästöjä, koska ainetta käytetään EU:ssa porsaiden rehun lisäaineena, ja se on tiettyjen sulfonyyliureaherbisidien hajoamistuote. Nämä tekijät voivat vaikuttaa paikoin korkeisiin pintaveden pitoisuuksiin.

Vaikka keinotekoisia makeutusaineita löytyy niin pinta- kuin pohjavedestä, ei niistä aiheudu välitöntä haittaa kuluttajille, sillä päivittäiset saantisuositukset ovat mitattuihin pitoisuuksiin nähden erittäin korkeat (Acceptable Daily Intake, ADI, on asesulfaamille 9, sakariinille 3,8 mg kg⁻¹ vrk⁻¹). Pintavesistä mitatut asesulfaamin ja sakariinin pitoisuudet pysyivät pääsääntöisesti reilusti alle tason 1000 ng l⁻¹. Nämä ovat erittäin pieniä pitoisuuksia verrattuna virvoitusjuomien sallittuihin makeutusaineiden pitoisuuksiin, jotka ovat asesulfaamille 350 mg l⁻¹ eli 350 000 000 ng l⁻¹ ja sakariinille 80 mg l⁻¹ eli 80 000 000 ng l⁻¹. Mitattujen pitoisuuksien merkitys on lähinnä siinä, että ne indikoivat veden mukana kulkeutuvia muitakin aineita ja mikrobeja, myös vaarallisia aineita pienemmissä pitoisuuksissa.

Projektin edistyessä sovelletaan kulkeutumismalleja kuvaamaan ja simuloimaan aineiden ja mikrobien kulkeutumista niin vesistössä kuin pohjavedessä. Tässä käytetään pitoisuus- ja virtaustietoja. Edesspäin on myös riskinarviointi, jossa selvitetään kemiallisten ja mikrobiologisten tekijöiden aiheuttamaa altistusta ja mahdollisia terveysvaikutuksia. Vastan ja riskienhallinnan mahdollisuuksien arvioinnin avulla voidaan tehdä päätelmiä siitä, miten huolissaan vesistöissä kulkeutuvista mikrobiologisista ja kemiallisista haitta-aineista on tarpeen olla, ja millaisia lähestymistapoja riskien hallintaan on löydettävissä. Kustannusten ja hyötyjen kokonaisvaltainen vertailu on myös tässä yhteydessä tärkeää, niin että välittömät kustannukset eivät painotu liikaa suhteessa pitkän aikavälin hyötyihin.

Kiitokset

Hankkeeseen osallistuvien tutkimuslaitosten lukuisat työntekijät ovat kommentoineet kirjoitusta ja auttaneet tulosten tuottamisessa, mistä lausutaan kiitokset. Kirjoittajat kiittävät myös hankkeeseen osallistuvia vesihuoltolaitoksia heidän panoksestaan tutkimuksen hyväksi ja Suomen Akatemiaa sen hankkeelle antamasta rahoituksesta.

Lähteet

CONPAT-hankkeen www-sivut: <http://fi.opasnet.org/fi/Conpat>

Allestam G., Dannetun E., Jonsson N., Lundström J., Löfdahl M., Svensson P., Boman H. 2011. Dissemination of *Legionella pneumophila* SG 1 from a biological treatment plant caused an outbreak in Sweden during 2010. Oral presentation in the 26th meeting of the European Working Group for Legionella Infections (EWGLI). 25th-27th Vienna, Austria, abstract book page 37.

Besse J-P, Garric J. 2008. Human pharmaceuticals in surface waters. Implementation of a prioritization methodology and application to the French situation. *Toxicol Lett.* 176:104–23.

Chimeddulam D, Wu K-Y. 2011. River water contaminated with perfluorinated compounds potentially posing the greatest risk to young children. *Chemosphere* 90;5:1617–24.

Götz CW, Stamm C, Fenner K, Singer H, Schärer M, Hollender J. 2010. Targeting aquatic microcontaminants for monitoring: exposure categorization and application to the Swiss situation. *Environ Sci Pollut Res.* 17:341–54.

Hokajärvi A-M, Pitkänen T, Siljanen HMP, Nakari U-M, Torvinen E, Siitonen A and Miettinen IT. 2013. Occurrence of thermotolerant *Campylobacter* spp. and adenoviruses in Finnish bathing waters and purified sewage effluents. *Journal of Water and Health* 11.1: 120-134

Huerta-Fontela M, Galceran MT, Ventura F. 2011. Occurrence and removal of pharmaceuticals and hormones through drinking water treatment. *Water Res.* 45:1432-42.

Hughes SR, Kay P, Brown LE. 2013. Global Synthesis and Critical Evaluation of Pharmaceutical Data Sets Collected from River Systems. *Environ. Sci. Technol.* 47:661–77.

Loos, Robert, Bernd M. Gawlik, Giovanni Locoro, Erika Rimaviciute, Serafino Contini, Giovanni Bidoglio. 2008. *EU Wide Monitoring Survey of Polar Persistent Pollutants in European River Waters*. JRC Sci & Tech Reports EUR 23568 EN. Ispra, Joint Res. Centre Inst Env Sust.

Olsen JS, Aarskaug T., Thrane I., Pourcel C., Ask. E., Johansen G., Waagen V., Blatny J.M. 2010: Alternative routes for dissemination of *Legionella pneumophila* causing three outbreaks in Norway. *Environ Sci Technol* 44:8712-8717. Perttinen, Veli-Pekka. 2003. *Farmaseuttisten yhdisteiden esiintyminen vesiympäristössä Suomessa ja niiden käyttäytyminen erilaisissa vedenkäsittelyprosesseissa*. Diplomityö, TTKK.

Pradhan, S.K., Kauppinen, A., Martikainen, K., Pitkänen, T., Kusnetsov, J., Miettinen, I.T, Pessi, M., Poutiainen, H. and Heinonen-Tanski, H. (2013) Microbial reduction in wastewater treatment using Fe³⁺ and Al³⁺ coagulants and PAA disinfectant. Accepted to *Journal of Water and Health*.

Vieno, Niina. 2007. *Occurrence of Pharmaceuticals in Finnish Wastewater Treatment Plants, Surface Waters, and Their Elimination in Drinking water Treatment Processes*. PhD Thesis, Tampere Univ Technol. 130 p.